

PEMANFAATAN ARDUINO UNTUK PENENTUAN KAPASITANSI KAPASITOR PADA PERBAIKAN FAKTOR DAYA



PUBLIKASI ILMIAH

**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Program Studi
Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

RHEKSI HERMAWAN

D 400 120 032

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2016

HALAMAN PERSETUJUAN

**PEMANFAATAN ARDUINO UNTUK PENENTUAN KAPASITANSI
KAPASITOR PADA PERBAIKAN FAKTOR DAYA**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

RHEKSI HERMAWAN

D 400 120 032

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Dr. Ratnasari Nur Rohmah, S.T., M.T.

NIK.780

HALAMAN PENGESAHAN

PEMANFAATAN ARDUINO UNTUK PENENTUAN KAPASITANSI KAPASITOR PADA PERBAIKAN FAKTOR DAYA

OLEH

RHEKSI HERMAWAN

D 400 120 032

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari ...7..., ...Mei... 2016
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Dr. Ratnasari Nur Rohmah, S.T., M.T.

(Ketua Dewan Penguji)

2. Ir. Pratomo Budi Santosa, M.T.

(Anggota I Dewan Penguji)

3. Dedy Ari Prasetya, S.T., M.Eng.

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.

NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 7 Mei 2016

Penulis


RHEKSL HERMAWAN

D 400 120 032

PEMANFAATAN ARDUINO UNTUK PENENTUAN KAPASITANSI KAPASITOR PADA PERBAIKAN FAKTOR DAYA

Rheksi Hermawan

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta,
email : rheksihermawan@gmail.com

Dr. Ratnasari Nur Rohmah, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta,
email : rnr17@ums.ac.id

Abstrak

Faktor daya merupakan salah satu nilai yang penting dalam perhitungan listrik bolak-balik. Nilai ini akan berubah sesuai dengan beban yang ada pada listrik tersebut. Nilai ini juga menunjukkan seberapa efisien daya listrik itu dipakai. Dalam kondisi idealnya, faktor daya listrik terbaik adalah bernilai 1. Namun pada prakteknya, kondisi ideal ini tidak dapat dicapai karena disebabkan peralatan itu sendiri yang tidak ideal. Pencapaian terbaik yang bisa dicapai adalah 0,99. Salah satu penyebab munculnya faktor daya listrik yang buruk adalah beban induktif. Beban ini menarik arus lebih banyak daripada beban resistif karena didalamnya terdapat proses pembuatan medan magnet yang menyebabkan kerja dari beban ini tidak sesuai dengan arus yang dikonsumsi. Penelitian ini akan mencoba mencari solusi agar faktor daya akibat dari beban induktif tersebut dapat diperbaiki. Proses perbaikan faktor daya dilakukan dengan cara menambah daya kapasitif pada beban. Daya kapasitif ini didapat dengan cara memasang kapasitor pada beban. Penelitian ini akan merancang suatu alat yang dapat menentukan besarnya nilai kapasitor yang sesuai dengan beban agar faktor daya dapat diperbaiki. Alat ini dibangun dari sensor tegangan, sensor arus, sensor beda fasa, dan Arduino. Output data dari semua sensor tersebut akan diolah oleh Arduino untuk menghitung nilai kapasitor yang sesuai pada saat beban tersebut dipasang. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, penelitian ini telah berhasil membuat alat yang sesuai dengan tugasnya. Sensor-sensor yang sudah dibangun telah dibandingkan dengan alat ukur HIOKI *Power Meter 3286-20* dan memiliki kesalahan pembacaan sebesar 3,13 % untuk sensor tegangan, 4,85 % untuk sensor arus, dan 5,66 % untuk sensor beda fasa. Nilai kapasitor hasil perhitungan alat juga sudah dicoba dipasang pada beban yang berbeda. Hasil pengujian pemasangan kapasitor memiliki kesalahan 0,875 % terhadap faktor daya harapan 0,99. Hal ini menunjukkan bahwa alat ini mampu bekerja dengan baik.

Kata kunci: faktor daya, kapasitor, perbaikan, Arduino.

Abstract

The power factor is one of important value in the alternating electric calculation. This value will change according to the existing load on the electricity. This value also indicates how efficiently power is used. In ideal conditions, the best electric power factor is 1. However, in practice, this ideal can not be achieved because due to the equipment itself is not ideal. Achievement of the best that can be achieved is 0.99. One of the causes of poor power factor is inductive load. This load draw current more than a resistive load because there is manufacturing magnetic field process which effect to the work of this load does not correspond to the current consumed. This research will try to find a solution to the power factor resulting from the inductive load can be improved. Power factor improvement process is done by adding a capacitive load power. Capacitive power is obtained by installing capacitors at the load. This research will design a device which can determine the value of the capacitor in accordance with the load so that the power factor can be improved. This device is built from a voltage sensor, current sensor, phase difference sensor, and Arduino. Output data from all the sensors will be processed by the Arduino to calculate the corresponding value of the capacitor when the load is mounted. Based on the testing that was done, this research has succeeded to make a device works appropriately. Sensors that have been built have been compared to the measuring instrument HIOKI *Power Meter 3286-20* and has a reading error by 3.13% for the voltage sensor, 4.85% for the current sensor, and 5.66% for the phase difference sensor. The capacitor value calculation results also have been tested at different loads. Results of testing the installation of capacitor has an error 0.875% against 0.99 power factor expectance. This indicates that the device is able to work properly.

Keywords: power factor, capacitors, improvement, Arduino.

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan komponen penting yang sangat dibutuhkan pada masa sekarang. Peralatan-peralatan rumah tangga hampir semuanya memakai energi listrik dalam pengoperasiannya. Peralatan tersebut meliputi lampu, televisi, kulkas, AC (*Air Conditioner*), mesin cuci, pompa air, charger handphone, dan lain sebagainya. Alat-alat tersebut harus tersambung energi listrik agar dapat beroperasi. Kalangan industri juga tidak jauh beda, sama-sama membutuhkan energi listrik dalam kesehariannya. Industri memegang peranan besar dalam kebutuhan energi listrik karena di dalam industri banyak mesin-mesin besar yang tentunya membutuhkan energi listrik yang besar pula. Penerangan pada dunia industri pun juga butuh energi listrik yang tidak sedikit karena banyaknya lampu yang dipasang.

Energi listrik mempunyai banyak besaran yang terkandung di dalamnya. Besaran ini juga menentukan seberapa kuat listrik pada suatu tempat dapat menanggung beban. Komponen tersebut meliputi tegangan, arus, faktor daya dan hasil perkalian dari ketiga komponen tersebut yaitu daya. Tegangan biasanya sudah menjadi ketetapan dari penyedia listrik, dalam hal ini PLN. PLN menyediakan tegangan yaitu 1 fasa (220 V) dan 3 fasa (380 V). Arus pada listrik tergantung dari bebannya, jika beban membutuhkan arus besar, maka beban tersebut juga akan menarik arus yang besar juga dari sumbernya.

Daya merupakan besaran kerja dari suatu peralatan listrik, baik dalam listrik searah, atau listrik bolak-balik. Daya dapat digambarkan dengan kemampuan satu jaringan listrik dalam menanggung beban yang ada pada jaringan tersebut. Daya dalam dunia listrik bolak-balik dihitung menggunakan rumus-rumus (1), (2), dan (3).

$$S = V \times I \quad (1)$$

$$P = V \times I \times \cos \alpha \quad (2)$$

$$Q = V \times I \times \sin \alpha \quad (3)$$

Keterangan :

V = Tegangan (V)

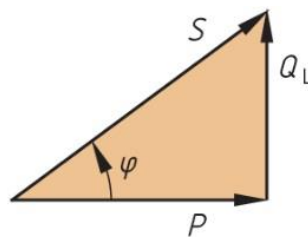
I = Arus (I)

α = sudut perbedaan fasa antara arus dan tegangan

S = Daya semu (VA)

P = Daya nyata (Watt)

Q = Daya reaktif (VAR)



Gambar 1. Hubungan Segitiga Daya

Hubungan dari daya semu, daya aktif, dan daya reaktif digambarkan pada Gambar 1. Hubungan dari ketiga daya tersebut menunjukkan arah dan sudut yang berbeda dari ketiga daya tersebut. Daya aktif (P) digambarkan dengan garis horizontal yang lurus. Daya reaktif (Q) berbeda sudut sebesar 90° dari daya aktif. Sedangkan daya semu (S) adalah hasil penjumlahan secara vektor antara daya aktif dengan daya reaktif.

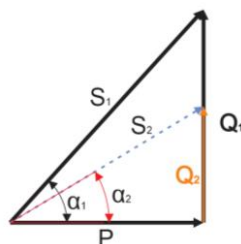
Daya dalam listrik bolak-balik sangat mempertimbangkan beda fasa. Karena dalam listrik bolak-balik, selain terdapat nilai tegangan dan arus juga terdapat perbedaan arah sudut atau beda fasa. Beda fasa terjadi jika titik awal mula arus berbeda dengan titik awal mula tegangan. Istilah ini disebut *lagging* dan *leading*. *Lagging* terjadi saat titik awal mula arus tertinggal terhadap titik awal mula tegangan. *Leading* terjadi ketika titik awal mula arus mendahului titik awal mula tegangan. Beda fasa inilah yang juga mempengaruhi besar kecilnya daya pada suatu peralatan. Beda fasa juga menggambarkan sejauh mana efisiensi besar daya terhadap kerja peralatan tersebut.

Beda fasa ini direpresentasikan dengan sudut dan nilai dari *cosinus* sudut tersebut dinamakan faktor daya. Pada prakteknya nilai faktor daya berkisar antara 0,5 sampai 1. Faktor daya terbaik bernilai 1. Faktor daya bernilai 1 terjadi apabila nilai P (daya nyata) sama dengan nilai S (daya semu). Hal ini dapat terjadi pada beban resistif. Faktor daya dapat berubah-ubah

nilainya seiring dengan beban yang dipakai. Bila pada beban terlalu banyak terdapat beban induktif, maka faktor daya akan semakin turun. Hal ini menimbulkan rugi-rugi daya.

Rugi-rugi daya ini disebabkan oleh beban listrik yang bersifat induktif. Beban induktif menarik arus tidak hanya untuk kebutuhan kerja beban tersebut, tetapi juga menarik arus untuk proses menghasilkan medan magnet pada peralatan tersebut. Hal ini mengakibatkan arus yang dikonsumsi lebih besar daripada kerja yang dihasilkan. Turunnya rugi-rugi daya ditandai dengan turunnya faktor daya. Berdasarkan Gambar 1, saat ada beban induktif maka akan menghasilkan daya reaktif yang arahnya positif/ke atas (Q_L). Daya reaktif ini akan menimbulkan sudut antara daya nyata (P) dan daya semu (S). Besarnya sudut yang timbul tergantung pada beban induktif yang dipasang. Semakin besar daya reaktif, sudut yang timbul juga akan besar. Hal tersebut akan menyebabkan listrik tidak efisien dengan ditandai daya semu (S) lebih besar dari daya nyata (P).

Faktor daya dapat diperbaiki dengan beberapa cara. Gambar 2 menunjukkan contoh perbedaan segitiga daya sebelum faktor daya diperbaiki dan sesudah faktor daya diperbaiki. Salah satu cara penanggulangan dalam perbaikan faktor daya adalah dengan memasang tambahan kapasitor pada beban. Kapasitor ini berfungsi sebagai penghasil daya reaktif yang arahnya negatif/ke bawah (Q_C). Cara ini menyebabkan adanya selisih antara Q_C dari kapasitor tambahan dan Q_L dari beban induktif. Hasil dari selisih ini menjadikan Q_L yang tadinya tinggi menjadi lebih rendah karena ada tambahan kapasitor (Q_2). Hal ini juga berpengaruh pada sudut faktor daya (α) dan daya semu (S). Sudut yang tadinya besar (α_1) akan menjadi sudut yang lebih kecil (α_2), dan S yang tadinya lebih panjang (S_1) akan menjadi lebih pendek (S_2). Kapasitor tambahan yang hendak dipasang juga tidak boleh sembarangan nilainya, harus dihitung dahulu dengan memperhatikan tegangan, arus, dan faktor daya pada beban tersebut. Perlu diingat, perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor bank ini hanya berlaku untuk beban yang bersifat induktif saja.



Gambar 2. Pengaruh kapasitor perbaikan faktor daya terhadap segitiga daya

Besar nilai kapasitor dapat dihitung dengan beberapa rumus. Salah satu rumus yang digunakan dalam penelitian ini adalah mencari nilai kapasitor berdasarkan reaktansi kapasitifnya. Rumus ditunjukkan pada persamaan 4.

$$C = \frac{1}{2\pi F X_c} \quad (4)$$

Keterangan :

X_c = impedansi kapasitor (Ω)

F = frekuensi gelombang (Hz)

C = nilai kapasitor (Farad)

Persamaan 4 hanya berfungsi untuk menentukan nilai akhir kapasitor. Persamaan ini hanya dapat digunakan jika proses perhitungan sebelumnya telah selesai. Perhitungan sebelumnya akan menentukan besarnya reaktansi kapasitif dengan langkah-langkah yang akan dijelaskan pada perancangan software.

Tahapan yang penting dalam perbaikan faktor daya adalah pengukuran faktor daya. Pengukuran faktor daya dapat dilakukan dengan mikrokontroler dengan cara mendeteksi titik nol sinyal tegangan dan arus. Berdasarkan cara tersebut, nilai faktor daya dapat dicari dengan menghitung waktu antara dua titik nol sinyal tersebut (Yasin, 2015). Faktor daya dapat diperbaiki dengan menambahkan kompensator daya reaktif berupa kapasitor bank (Darmawan, Rahma Wati, & Muhaimin, 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah alat yang dapat menghitung kebutuhan kapasitor untuk memperbaiki faktor daya pada beban. Faktor daya harapan yang ingin diperbaiki dengan adanya kapasitor tersebut adalah faktor daya diatas 0,95. Proses memasukkan penambahan elemen reaktif untuk membuat faktor daya mendekati nilai 1 disebut perbaikan faktor daya (Boylestad, 2003). Disamping memperbaiki faktor daya, perhitungan ini juga bertujuan untuk meningkatkan efisiensi listrik pada suatu tempat dengan dipasangnya kapasitor bank. Penelitian ini juga bermanfaat untuk memberikan pengetahuan tentang bagaimana merancang suatu rangkaian elektronika yang dapat berfungsi dengan baik walaupun menangani tegangan bolak-balik

secara langsung. Hal ini mampu mendorong kemampuan peneliti dalam merancang alat elektronika yang berhubungan langsung dengan tegangan tinggi.

Penelitian ini mampu memberikan gambaran tentang perhitungan daya yang berlaku di PLN. Perhitungan ini dapat dijadikan acuan untuk menentukan besarnya kapasitas komponen pada perancangan alat ini. Perhitungan daya PLN juga dapat dijadikan sebagai perhitungan kapasitas maksimal yang dapat ditanggung pada jaringan listrik rumah, perkantoran, industri atau yang lainnya. Hal ini harus sangat dipertimbangkan mengingat jika tidak dihitung secara pasti, maka kelistrikan yang akan digunakan bisa saja menjadi tidak stabil atau tidak sesuai yang diharapkan. Melakukan perhitungan bisa meminimalisir kerugian jangka panjang.

2. METODE

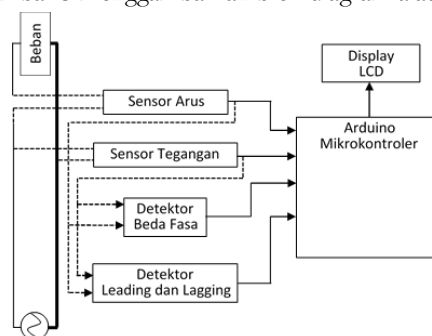
2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini akan merancang sebuah alat yang komponen-komponennya meliputi sebagai berikut.

- Arduino Nano, Arduino Uno.
- Sensor Arus ACS712 20A.
- Trafo step down.
- IC Regulator 7805, 7806, dan 7812.
- LCD Character 20x4, 16x2.
- I2C LCD Backpack.
- Akrilik 3mm.
- Alas kayu 24x24 cm.
- Terminal kabel.
- MCB.
- IC 74LS86, 4013, dan LM741.
- Resistor, dioda, dioda zener, kapasitor milar, kapasitor keramik, kapasitor elektrolit.
- Soket IC, led 5mm.
- Soket female, pin male.
- Jumper male to male, female to female, male to female.
- Kabel NYA 3x1,5 mm.
- Kabel usb.
- Laptop/Komputer.

2.2 Perancangan

Perancangan pada penelitian ini meliputi dua tahap yakni perancangan hardware dan perancangan software. Secara garis besar alat akan berfungsi sebagai penghitung nilai kapasitansi kapasitor secara otomatis. Konsep yang akan dipakai pada alat ini adalah membangun sistem mikrokontroler yang dapat mengolah data sensor sekaligus melakukan perhitungan penentuan nilai kapasitor sesuai dengan faktor daya harapan yang telah ditentukan. Komponen yang dipakai sebagai sistem pengolah dan penghitungan data adalah mikrokontroler Arduino. Arduino akan bertugas sebagai penerima data dari keluaran sensor, kemudian data tersebut akan diolah menggunakan algoritma dan pemrograman supaya data dari sensor sesuai dengan nilai yang sebenarnya. Nilai tersebutlah yang akan dipakai untuk perhitungan penentuan nilai kapasitor. Pemasangan alat hampir sama seperti pemasangan alat ukur arus yaitu seri dengan beban yang ingin dihitung. Bedanya, alat juga harus mendapatkan sumber tegangan agar dapat bekerja. Gambar 3 menggambarkan blok diagram alat yang dirancang.

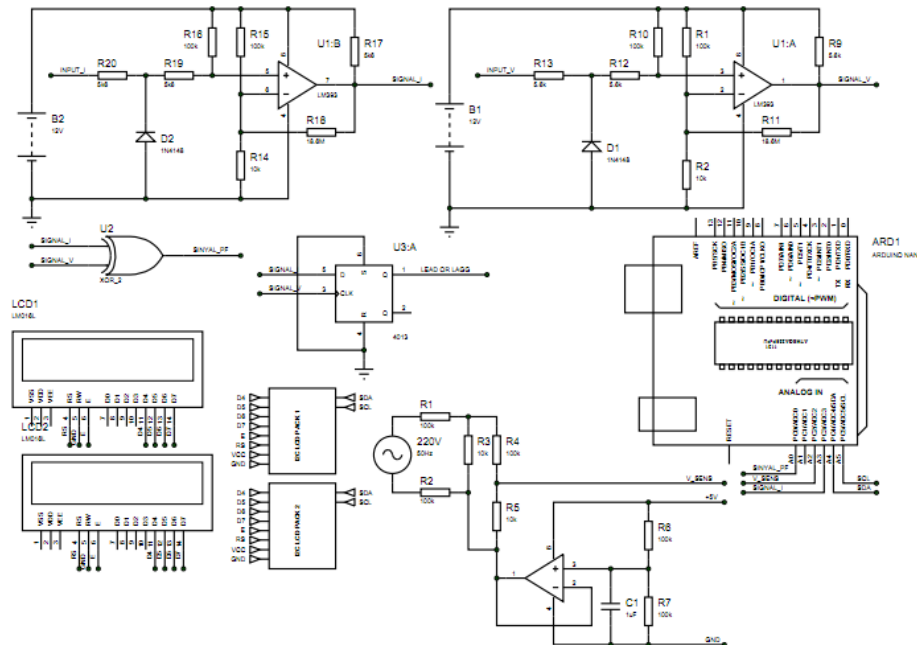


Gambar 3. Blok diagram alat

Rangkaian yang dibuat pada penelitian ini antara lain sensor tegangan, sensor arus, sensor beda fasa, pendeteksi *leading/lagging*, rangkaian Arduino, dan rangkaian display. Rangkaian tersebut dibuat secara terpisah. Penyambung antara rangkaian satu dengan rangkaian lain adalah dengan kabel jumper.

2.2.1 Perancangan Hardware

Perancangan hardware meliputi pembuatan rangkaian-rangkaian yang digunakan pada penelitian ini. Rangkaian sensor beda fasa, dan sensor tegangan dijadikan dalam satu pcb. Skema rangkaian penuh yang dirancang pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.

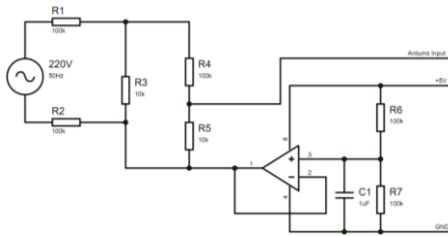


Gambar 4. Rangkaian alat yang dibuat

Sensor tegangan dapat dibangun dengan konsep rangkaian pembagi tegangan yang terdiri dari resistor yang diseri (Fransiska, 2013). Sensor tegangan pada penelitian ini dibangun dengan mempertimbangkan mikrokontroler Arduino yang tidak dapat memproses sinyal AC. Arduino hanya dapat mengolah sinyal DC dari level 0V hingga 5V. Mengingat akan hal ini, sensor tegangan akan dirangkai dengan cara membuat tegangan analog yang besar tegangannya lebih dari 0V dan kurang dari 5V. Tegangan analog ini akan diolah oleh Arduino dengan rumus dan algoritma tertentu sehingga didapat nilai tegangan yang sesuai dengan nilai sebenarnya.

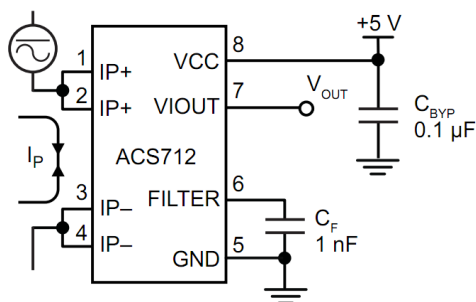
Rangkaian sensor dimulai dengan merangkai resistor pembagi tegangan agar sinyal tegangan 220V dari PLN dapat diturunkan ke level yang lebih kecil yaitu sekitar 9V. Dari sinyal 9V, diturunkan lagi levelnya menggunakan 2 resistor yang bernilai 10k dan 100k. Sinyal ini belum dapat diolah langsung oleh Arduino, melainkan harus ditambahkan rangkaian penghilang tegangan negatif terlebih dahulu. Rangkaian ini disamping menghilangkan tegangan negatif juga berfungsi untuk melindungi Arduino dari sinyal AC yang dapat merusak Arduino.

Rangkaian penghilang tegangan negatif pada dasarnya adalah mengambil tegangan 2,5 V DC dari power supply 5V kemudian tegangan ini akan dibiaskan ke jalur sinyal AC yang negatif agar tegangan negatif dari sinyal AC tersebut hilang. Rangkaian penghilang tegangan negatif dibangun menggunakan rangkaian Op-Amp yang inputnya didapat dari titik temu 2 resistor pembagi tegangan 5V yang nilai resistansinya sama. Output dari Op-Amp dibiaskan ke salah kaki resistor 10k yang tersambung dengan sinyal AC 9V. Sedangkan kaki resistor 10k yang lain, dipakai untuk input Arduino. Hubungan rangkaian sensor tegangan ditunjukkan pada Gambar 5. Keluaran data dari sensor ini berbentuk tegangan analog dan akan diolah oleh Arduino agar tegangan tersebut dapat dibaca oleh sistem.

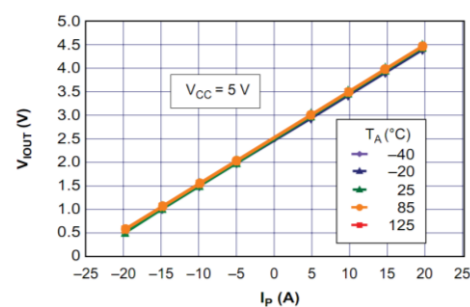


Gambar 5. Rangkaian sensor tegangan

Rangkaian sensor arus dibangun dari IC Hall-Effect ACS712 dengan kemampuan maksimal pengukuran 20A. Sensor ini dipasang secara seri seperti memasang alat ukur *ampere meter*. Proses kerja dari sensor ini memanfaatkan efek magnetisasi yang terjadi pada sinyal AC yang melewati IC tersebut. Efek ini kemudian akan dikonversi menjadi sinyal tegangan yang besarnya sebanding dengan arus yang mengalir. Untuk sensor 20A, besar tegangan adalah 10 mV/A. Artinya dalam kenaikan setiap 10 mV, arus juga akan naik setiap 1 A. Namun karakteristik sensor ini adalah jika tidak ada arus yang mengalir, tegangan output akan sebesar 2,5 V. Rangkaian sensor arus ditunjukkan pada Gambar 6 dan grafik tegangan output terhadap arus yang mengalir ditunjukkan pada Gambar 7. Tegangan keluaran dari sensor ini akan dibaca oleh Arduino untuk mengetahui nilai arus yang sedang mengalir pada beban.



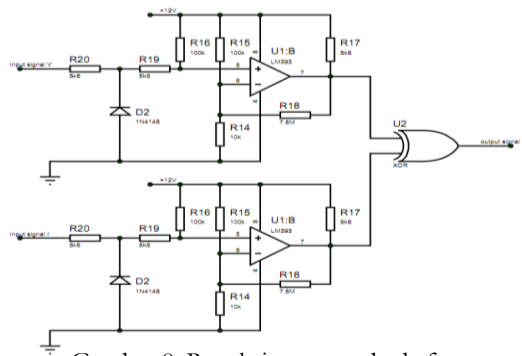
Gambar 6. Rangkaian sensor arus



Gambar 7. Grafik tegangan output sensor

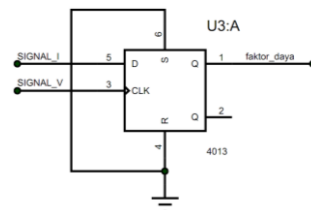
Sensor beda fasa juga dirancang pada penelitian ini. Sensor beda fasa berfungsi untuk mendapatkan nilai beda fasa yang terjadi antara sinyal arus dan sinyal tegangan. Perancangan sensor beda fasa menggunakan 2 rangkaian pengubah sinyal sinus ke sinyal kotak. Rangkaian pengubah menggunakan IC Op-Amp LM393. Rangkaian ini bekerja berdasarkan tegangan referensi yang telah ditentukan. Penentuan tegangan referensi pada dasarnya menentukan anggapan seberapa yang dianggap sinyal *HIGH* dan seberapa yang dianggap sinyal *LOW*. Penentuan tegangan referensi ini sangatlah penting dan merupakan kunci dari rangkaian karena bentuk sinyal kotak pada output akan tergantung dari besarnya tegangan referensi.

Rangkaian pembanding kedua sinyal kotak dari IC Op-Amp LM393 memanfaatkan rangkaian logika dari gerbang EX-OR. Gerbang logika ini akan membandingkan kedua sinyal yang telah berbentuk kotak tadi menjadi sinyal step. Sinyal step yang keluar dari gerbang logika ini akan menggambarkan perbedaan fasa antara kedua sinyal kotak yang dibandingkan. Dalam hal ini sinyal tegangan dan sinyal arus. Lamanya periode *high* pada sinyal step inilah yang akan dipakai dan diolah oleh Arduino sebagai output sinyal beda fasa. Rangkaian *zero crossing detector* berfungsi sebagai pembanding dua sinyal yang akan membandingkan titik nol kedua sinyal tersebut. Jika ada perbedaan titik nol dari kedua sinyal, maka keluaran sinyal akan *high* selama terdapat perbedaan titik nol (Biswas, 2015). Metode tersebut dijadikan sebagai salah satu rujukan dalam membuat rangkaian sensor beda fasa. Rangkaian sensor beda fasa yang dirancang pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 8. Rangkaian pendeteksi beda fasa dapat diubah respon sistemnya agar tidak terpengaruh oleh distorsi harmonik. Peningkatan respon sistem pada rangkaian dapat ditentukan dengan menghitung resistor yang ada pada rangkaian tersebut (Ahmed, Saha, & Al-Sunny, 2013). Keluaran data pada sensor ini berbentuk sinyal kotak. Sinyal ini akan dideteksi periodenya oleh Arduino.



Gambar 8. Rangkaian sensor beda fasa

Rangkaian yang tidak kalah penting selanjutnya adalah rangkaian pendeteksi beban *lagging/leading*. Pendeteksian beban *lagging/leading* dapat dilakukan dengan cara melakukan perhitungan matematis (Yaseen, 2012). Pada penelitian kali ini rangkaian dibangun menggunakan hardware dari sistem *D Flip-flop* yang akan memberikan logika yang berbeda antara beban *leading* atau *lagging*. Skema rangkaian ditunjukkan pada Gambar 9. Rangkaian ini diperlukan agar algoritma perhitungan kapasitor hanya akan dijalankan saat beban yang ada bersifat *lagging*. Output dari rangkaian ini disambungkan ke Arduino.



Gambar 9. Rangkaian pendeteksi beban *lagging/leading*

Rangkaian display menggunakan lcd karakter 20x4. Rangkaian display akan menampilkan data-data antara lain nilai tegangan, arus, daya aktif, faktor daya, hingga nilai kapasitor yang dibutuhkan. Terdapat dua lcd yang digunakan. Lcd yang lebih kecil yaitu berukuran 16x2 berfungsi sebagai penampil pesan singkat. Contoh tampilan pada alat yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Tampilan data pada alat

2.2.2 Perancangan Software

Perancangan software pada penelitian ini adalah menuliskan algoritma pemrograman pada Arduino agar data-data sensor dapat dibaca. Mengingat data-data dari sensor bila tidak diolah nilainya maka tidak akan bisa dipakai sebagai penghitung kapasitor. Perancangan software juga bertujuan agar nilai-nilai hasil olah data Arduino dapat ditampilkan ke LCD display agar pengguna dapat mengetahui kondisi dan hasil perhitungan secara *real-time*.

Output sensor tegangan akan dimasukkan ke Arduino dengan cara disambungkan pada pin analog. Cara ini digunakan karena output dari sensor tegangan berbentuk tegangan analog yang masih berubah-ubah. Langkah pemrogramannya diawali dengan mengambil data secara terus menerus sebanyak 157 kali pengambilan. Cara ini disebut dengan sampling data tegangan. Sampling diperlukan karena Arduino tidak dapat mengambil data analog dalam satu siklus secara pasti. Total data pengambilan sebanyak 157 kali tersebut akan dijumlahkan dan kemudian akan diambil rata-ratanya. Rata-rata dari proses sampling inilah yang akan dianggap Arduino sebagai nilai output dari sensor. Namun nilai ini masih belum dapat digunakan karena masih berbeda dengan nilai tegangan sebenarnya. Langkah selanjutnya adalah membuat suatu konstanta agar nilai dari sensor tegangan tersebut dapat sesuai dengan nilai tegangan PLN. Penentuan konstanta didasarkan pada nilai referensi yang dipakai yaitu dari alat ukur *voltmeter*. Cara ini dilakukan agar nilai tegangan yang semula kecil, dapat mendekati nilai yang sebenarnya.

Pengolahan data pada sensor arus oleh Arduino tidak jauh beda dengan pengolahan data sensor tegangan. Perbedaan terletak pada algoritma penentuan titik tengah tegangan 5V power supply terlebih dahulu. Algoritma ini dijalankan pada Arduino saat pertama kali diaktifkan. Program ini dibuat berdasarkan *datasheet* sensor yang mengatakan jika sensor tidak dialiri arus, maka tegangan output dari sensor adalah 2,5 V.

Algoritma sampling pada sensor arus hampir sama dengan algoritma sampling sensor tegangan. Hanya saja saat melakukan proses sampling, data tiap sampling dikurangi dengan nilai titik tengah tegangan 5V. Karena yang dicari adalah arus RMS (*Root Mean Square*) maka total data sampling sensor arus berasal dari hasil perkalian pangkat 2 dari tiap data sampling yang sudah dikurangi dengan nilai titik tengah 5V. Hasil akhir dari algoritma ini dihitung berdasarkan akar kuadrat dari total data sampling dibagi dengan jumlah sampling dan dikali dengan resolusi ADC (*Analog to Digital Converter*). Hasil akhir ini nantinya yang akan digunakan sebagai data arus pada algoritma perhitungan nilai kapasitor.

Sinyal output dari rangkaian beda fasa berbentuk sinyal kotak yang logika *high* nya menggambarkan sudut beda fasa antara tegangan dan arus. Tugas dari Arduino adalah mengkonversi sinyal tersebut yang semula dalam kawasan waktu ke dalam kawasan sudut agar dapat dicari nilai cos nya. Algoritma ini juga diperlukan untuk Arduino karena dalam perhitungan kapasitor membutuhkan nilai beda fasa dalam kawasan sudut.

Perancangan software selanjutnya dan yang paling utama adalah membuat algoritma perhitungan kapasitor. Algoritma ini akan memproses seluruh parameter sensor yang telah diolah yaitu sensor tegangan, arus, dan beda fasa. Algoritma ini dibangun berdasarkan rumus perhitungan kapasitor. secara garis besar, langkah-langkah algoritma penghitung kapasitor adalah sebagai berikut:

- Ukur tegangan, arus, faktor daya melalui sensor
- Hitung daya aktif dengan menggunakan persamaan 2
- Simpan nilai sudut dari faktor daya awal, hitung nilai sudut dari faktor daya harapan
- Hitung nilai sin dari faktor daya awal dan faktor daya harapan, simpan dengan variabel yang berbeda
- Hitung arus reaktif awal
- Hitung arus total harapan jika faktor daya harapan terpenuhi berdasarkan persamaan 2
- Hitung arus reaktif harapan
- Hitung selisih antara arus reaktif awal dan arus reaktif harapan
- Hitung impedansi kapasitor
- Hitung nilai kapasitansi kapasitor menggunakan persamaan 4 dan ubah nilai akhirnya ke dalam satuan μF (*micro Farad*)

Pada perancangan software, proses pemrograman Arduino menggunakan 2 buah Arduino. Arduino Nano berfungsi sebagai pemroses utama yang didalamnya menangani pengolahan data sensor tegangan dan arus, pemrograman display lcd, penerima data dari Arduino Uno, dan pemrograman algoritma perhitungan kapasitor. Arduino yang kedua yaitu Arduino Uno yang berfungsi sebagai pemroses data sensor beda fasa dan mengirimkan hasil pemrosesan tersebut ke Arduino Nano.

Pemrograman menggunakan dua buah Arduino dibangun atas keterbatasan kemampuan peneliti dalam membuat program. Hal ini didasarkan atas percobaan yang telah dilakukan selama penelitian ini berlangsung yang mengalami kesulitan pembuatan program bila hanya menggunakan satu buah Arduino sebagai pemroses utama. Kesulitan ini muncul karena pada saat seluruh pemrograman dicoba dijalankan dalam satu Arduino, aliran program menjadi kacau dan mengakibatkan tidak akuratnya data-data hasil perhitungan. Peneliti mengalami kesulitan menemukan algoritma pemrograman yang efektif yang bisa dijalankan dalam satu Arduino. Faktor inilah yang menyebabkan peneliti memilih menggunakan dua buah Arduino sebagai pemroses yang hal ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi data-data perhitungan pada alat yang dibuat pada penelitian ini. Pada penelitian selanjutnya, semoga hal ini dapat diperbaiki yaitu bisa menggunakan satu buah Arduino sebagai pemroses utama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Bentuk dan desain alat yang dibuat

Alat yang dibuat pada penelitian ini berbentuk kotak berukuran 24 cm x 24 cm dengan tinggi sekitar 7 cm. Bentuk ini dibuat dari alas berkayu dan tiap sisi-sisinya terbuat dari akrilik dengan tebal 3 mm. Sisi depan pada alat terdapat 2 buah LCD berwarna biru dan kuning. Kedua LCD ini berfungsi untuk menampilkan data-data sensor dan hasil perhitungan. Desain luar alat dapat dilihat pada Gambar 11.

Desain dalam alat terdapat blok-blok rangkaian yang dipakai pada alat ini. Blok-blok tersebut antara lain power supply, rangkaian pengkondisi sinyal (sensor tegangan, sensor arus, sensor beda fasa, dan rangkaian pendeteksi beban *lagging* dan *leading*), rangkaian

Arduino, terminal input dan output 220 V AC, trafo pembangkit sinyal arus, dan MCB. Detail desain dalam alat dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Bentuk dan desain alat

3.2 Hasil pengujian sensor

Berdasarkan metode yang dipakai dalam membuat sensor, untuk mengetahui apakah data sensor tersebut valid atau tidak maka dilakukan pengujian dengan alat ukur yang sudah berstandar yaitu HIOKI *Power Meter*. Hasil pengujian seluruh sensor yang dibuat dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1. Pengujian dilakukan dengan memasang alat pada jaringan listrik rumah. Hal ini bertujuan agar kerja alat dapat benar-benar diuji di kondisi yang sebenarnya.

Tabel 1. Pengujian sensor tegangan dan arus

No	Beban	Perbandingan Sensor Tegangan		Perbandingan Sensor Arus		Perbandingan Sensor Faktor Daya		Besar Error Tegangan	Besar Error Arus	Besar Error Cos Phi
		Alat yang dibuat	HIOKI	Alat yang dibuat	HIOKI	Alat yang dibuat	HIOKI			
1	Mesin bor	218,10 V	212,40 V	0,61 A	0,64 A	0,85	0,72	2,68 %	4,68 %	18,05 %
2	Solder	218,20 V	213,20 V	0,15 A	0,15 A	0,99	0,99	2,34 %	0,00 %	0,00 %
3	Mesin bor dan solder	218,10 V	213,60 V	0,73 A	0,77 A	0,89	0,80	2,10 %	5,19 %	11,25 %
4	Kulkas	217,90 V	214,60 V	0,63 A	0,63 A	0,75	0,74	1,53 %	0,00 %	1,35 %
5	Kulkas, kipas angin, dan charger laptop	218,00 V	213,30 V	0,88 A	0,94 A	0,87	0,86	2,20 %	6,38 %	1,16 %
6	Kulkas, pompa air, dan charger laptop	218,00 V	201,40 V	1,60 A	1,68 A	0,85	0,86	8,24 %	4,76 %	1,16 %
7	Pompa air	218,00 V	205,30 V	0,94 A	0,98 A	0,88	0,85	6,18 %	4,08 %	3,52 %
8	Pompa air dan mesin cuci	218,00 V	212,00 V	1,65 A	1,78 A	0,95	0,93	2,83 %	7,30 %	2,15 %
9	Mesin obras	217,90 V	213,80 V	0,98 A	1,02 A	0,86	0,69	1,91 %	3,92 %	24,63 %
10	Mesin obras dan pompa air	218,00 V	210,40 V	1,89 A	2,02 A	0,86	0,78	3,61 %	6,43 %	10,25 %
11	Mesin obras dan mesin cuci	218,00 V	211,10 V	1,55 A	1,73 A	0,88	0,87	3,26 %	10,40 %	1,14 %
12	Mesin cuci	218,10 V	212,80 V	0,76 A	0,81 A	0,99	0,98	2,49 %	6,17 %	1,02 %
13	Kulkas dan mesin cuci	217,90 V	213,60 V	1,27 A	1,33 A	0,93	0,92	2,01 %	4,51 %	1,08 %
14	Kulkas dan mesin obras	217,90 V	210,80 V	1,51 A	1,58 A	0,77	0,72	3,36 %	4,43 %	6,94 %
15	Mesin cuci, mesin obras, dan kulkas	218,00 V	213,40 V	2,12 A	2,22 A	0,86	0,85	2,15 %	4,50 %	1,17 %
Rata-rata <i>error</i> sensor terhadap alat ukur HIOKI								3,13 %	4,85 %	5,66 %

Berdasarkan tabel 1, dapat dilihat terdapat *error* pengukuran sensor tegangan sebesar 3,13 %, sensor arus 4,85 %, dan sensor faktor daya 5,66 %. Kesalahan pengukuran ini diperoleh karena beberapa hal seperti, faktor komponen, ketelitian algoritma pemrograman, dan kondisi lingkungan. Namun dari besarnya persentase *error*, peneliti mempunyai kesimpulan bahwa seluruh sensor yang dibuat dalam penelitian ini sudah cukup untuk dapat dijadikan sebagai acuan nilai data sensor.

3.3 Hasil pengujian pemasangan kapasitor pada beban

Pengujian pemasangan kapasitor pada penelitian ini melakukan 8 kali pengujian dengan beban yang berbeda-beda. Pada tiap pengujian, terbukti Arduino dapat langsung menghitung kapasitor dengan rumus yang sudah ditentukan. Pada pengujian ini, besarnya faktor daya harapan yang ingin diperbaiki adalah 0,99. Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan Arduino yaitu pengukuran faktor daya dan perhitungan nilai kapasitor. Untuk menguji kebenaran perhitungan kapasitor, pada pengujian dilakukan pemasangan kapasitor ke jaringan beban secara langsung. Pemasangan besarnya kapasitor didapat dari nilai yang telah dihitung oleh alat yang dibuat pada penelitian ini. Hasil akhir dari pengujian ini adalah faktor daya akhir setelah kapasitor dipasang pada jaringan beban listrik.

Tabel 2. Hasil pengujian sensor beda fasa dan perhitungan kapasitor

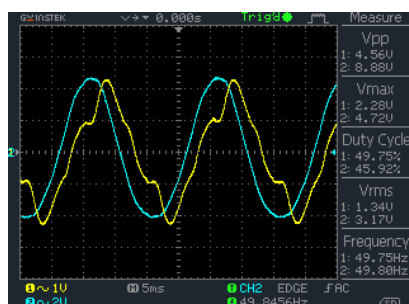
No	Beban	Daya	Faktor Daya Terukur	Hasil Perhitungan Kapasitor	Kapasitor yang Dipasang	Faktor Daya Akhir	Error Faktor Daya Akhir terhadap Faktor Daya Harapan
1	Kulkas	103,1 W	0,77	5,38 μF	5 μF	0,99	0 %
2	Kulkas, kipas angin, dan charger laptop	157,4 W	0,91	4,05 μF	4 μF	0,99	0 %
3	Kulkas, pompa air, dan charger laptop	362,2 W	0,87	10,95 μF	10 μF	0,99	0 %
4	Mesin obras	156,7 W	0,81	6,94 μF	6 μF	0,95	4 %
5	Mesin obras, pompa air, dan charger laptop	354,5 W	0,85	12,41 μF	12 μF	0,98	1 %
6	Mesin obras dan mesin cuci	286,3 W	0,90	7,46 μF	7 μF	0,98	1 %
7	Kulkas dan mesin obras	245,1 W	0,78	11,79 μF	11 μF	0,98	1 %
8	Mesin obras, mesin cuci, dan kulkas	403,4 W	0,85	13,34 μF	13 μF	0,99	0 %
Rata-rata <i>error</i> terhadap faktor daya harapan							0,875 %

Berdasarkan tabel 2, rata-rata *error* faktor daya akhir terhadap faktor daya harapan adalah sebesar 0,875 %. *Error* ini muncul akibat dari pemasangan kapasitor yang tidak sesuai dengan hasil perhitungan. Pemasangan kapasitor hanya dilakukan dengan menganggap bilangan bulatnya saja. Bilangan di belakang koma tidak dianggap. Hal ini didasarkan pada tidak adanya nilai kapasitor di pasaran yang sesuai dengan hasil perhitungan. Besaran *error* ini dapat diperkecil lagi bila nilai kapasitor yang dipasang bisa sedekat mungkin dengan hasil perhitungan. Selain itu, perbaikan pada rangkaian pengolahan sinyal pada sensor beda fasa juga harus bisa lebih responsif dan lebih peka terhadap tinggi amplitudo yang tiba-tiba berbeda, khususnya pada pengolahan sinyal arus. Karena pada hakikatnya, bentuk gelombang arus akan terpengaruh pada peralatan listriknya.

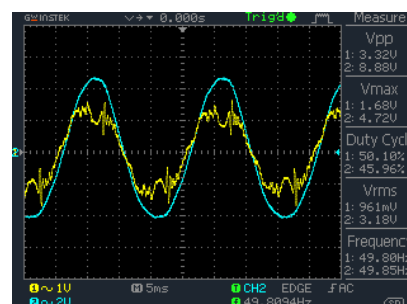
3.4 Hasil uji coba sistem menggunakan beban mesin bor

Penelitian ini mengambil sampel bentuk gelombang saat ada beban mesin bor berkapasitas 350 W yang ada di Laboratorium Teknik Elektro UMS. Hal ini didasarkan pada data sebelumnya yang menunjukkan saat alat dibebani mesin bor, terdapat faktor daya sebesar 0,75 dan pergeseran sudut sebesar 41° . Gambar 12 menunjukkan adanya pergeseran gelombang antara tegangan dan arus. Dalam Gambar 12, gelombang berwarna biru menunjukkan sinyal tegangan dan gelombang berwarna kuning menunjukkan sinyal arus. Kedua sinyal ini diambil dari output sensor tegangan dan sensor arus.

Jarak pergeseran pada Gambar 12 dapat dicari dengan melihat grid horizontal dan ukuran time/div. Pada kasus ini, time/div yang digunakan adalah 5 ms. Hal ini dapat diartikan bahwa setiap kotak, mempunyai skala 5 ms. Setiap kotak memiliki 5 grid. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa skala di setiap grid horizontal adalah 1 ms. Pada Gambar 12 menunjukkan adanya pergeseran titik nol sinyal arus terhadap sinyal tegangan sepanjang 2 grid. Sesuai penjelasan sebelumnya, maka dapat disimpulkan lama pergeseran sinyal arus terhadap sinyal tegangan adalah 2 ms.



Gambar 12. Bentuk gelombang sebelum cos phi diperbaiki



Gambar 13. Bentuk gelombang sesudah cos phi diperbaiki

Pengujian pemasangan kapasitor dilakukan dengan cara memberikan tambahan pemasangan kapasitor pada beban. Besarnya ukuran kapasitor didasarkan pada hasil perhitungan Arduino. Pada pengujian ini, hasil perhitungan Arduino menunjukkan nilai kapasitor sebesar 6,06 μF . Karena nilai tersebut tidak ada di pasaran, maka digunakan kapasitor dengan nilai 6 μF sebagai penambahan bebannya. Gambar 13 menunjukkan gambar gelombang arus dan tegangan setelah diberikan penambahan kapasitor 6 μF pada beban. Perbedaan gambar terutama terletak pada gelombang berwarna kuning yaitu sinyal arus. Jika sebelumnya pada Gambar 12 sinyal arus mengalami pergeseran terhadap sinyal tegangan, maka setelah diberikan penambahan kapasitor sesuai perhitungan, titik nol sinyal arus menjadi sama dengan titik nol sinyal tegangan. Berdasarkan pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa alat yang dibuat terbukti dapat memperbaiki faktor daya yaitu mengatasi sinyal arus yang tertinggal menjadi sedekat mungkin dengan titik nol sinyal tegangan.

Namun dari Gambar 12 dan 13 dapat disimpulkan juga bahwa akibat negatif dari perbaikan faktor daya adalah terdapat perbedaan bentuk sinyal arus sebelum dan sesudah diperbaiki faktor dayanya. Perbedaan terutama dilihat pada adanya *noise* pada sinyal arus yang telah diperbaiki faktor dayanya. *Noise* ini ditimbulkan dari tambahan kapasitor yang dipasang. Tetapi untuk

beban listrik yang dipasang, tidak terlalu mementingkan bentuk sinyal arus yang harus meminimalkan *noise*. Hal ini memberi kesimpulan bahwa meskipun sinyal arusnya terdapat *noise*, beban listrik masih dapat berjalan dengan baik. Apabila memang bentuk sinyal arus harus diperbaiki, maka pada penelitian selanjutnya harus melakukan proses pengolahan sinyal lebih lanjut pada sinyal arus akhir agar *noise* tersebut dapat diminimalisir.

4. PENUTUP

Hasil dan pembahasan menunjukkan bahwa secara garis besar, alat yang dibuat telah mampu menghitung nilai kapasitor dengan baik. Namun, dari hasil pembahasan pemasangan kapasitor pada beban, masih terdapat kesalahan yang menyebabkan faktor daya akhir berbeda dengan faktor daya yang ingin dicapai yaitu 0,99. Besarnya perbedaan adalah 0,875 %. Hal ini disebabkan oleh nilai kapasitor yang dipasang berbeda dengan hasil perhitungan Arduino, selain itu disebabkan oleh kemampuan masing-masing komponen yang terdapat batas toleransi dan faktor lingkungan.

Besarnya kesalahan pembacaan sensor sebesar 3,13 % untuk sensor tegangan, 4,85 % untuk sensor arus, dan 6,66 % untuk sensor faktor daya. Kesalahan ini disebabkan oleh perancangannya yang dibuat sendiri. Kesalahan tersebut dapat muncul karena pemilihan komponen yang kualitasnya kurang. Selain itu, nilai pada komponen seperti resistor memiliki toleransi yang cukup besar yaitu 5%. Hal ini berakibat adanya perbedaan pada nilai komponen yang tertera pada body komponen dengan nilai hambatan yang diukur dengan multimeter. Hal ini dapat diminimalisir dengan mencari komponen dengan toleransi nilai sekecil mungkin.

Penelitian selanjutnya harus mempertimbangkan kualitas masing-masing komponen agar pembacaan dan kerja rangkaian semakin mendekati alat ukur. Hal ini bertujuan untuk mengurangi dan meminimalisir kesalahan pembacaan pada alat yang dibuat.

PERSANTUNAN

Rasa syukur dan terimakasih kepada Allah SWT, Tuhan semesta alam yang telah memberikan kesempatan dan kemudahan dalam melakukan penelitian ini sehingga penelitian dengan judul “Pemanfaatan Arduino dalam Menghitung Kapasitor untuk Perbaikan Faktor Daya” telah selesai dan disetujui.

Ucapan terimakasih juga penulis persembahkan kepada kedua orang tua yang senantiasa membantu menyemangati dan membimbing secara personal dari awal hingga disetujuinya laporan ini. Tak lupa, penulis juga mengucapkan terimakasih kepada pembimbing yaitu Dr. Ratnasari Nur Rohmah, S.T., M.T. yang telah membimbing dalam melakukan penelitian dan juga membimbing dalam penulisan naskah publikasi ini, yang tanpa beliau penulis tidak akan bisa menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

Penulis juga mempersembahkan ucapan terimakasih kepada teman-teman satu angkatan Teknik Elektro UMS yang telah banyak membantu dalam proses penelitian hingga disetujuinya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmmmed, P., Saha, S., & Al Sunny, S. (2013). Modeling and Simulation of a Microcontroller Based Power Factor Converter. *IEEE*.
- Ardikusuma, T. (2011). *Perbaikan Faktor Daya untuk Beban Rumah Tangga secara Otomatis*. Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- Biswas, R. S. (2015). Automatic Power Factor Improvement using Microcontroller. *IEEE*.
- Boylestad, R. (2003). *Introductory Circuit Analysis, Tenth Edition*. New York: Prentice Hall.
- Darmawan, A., Rahma Wati, F., & Muhaimin, N. (2015). *Rancang Bangun Alat Perbaikan Faktor Daya untuk AC (Air Conditioner) secara Otomatis*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Novermber.
- Fransiska, R., Septia, E., Vessabhu, W., Frans, W., Abednego, W., & Hendro. (2013). Electrical Power Measurement Using Arduino Uno Microcontroller and labVIEW. *IEEE*, 226-229.
- Yaseen, A. A. (2012). Fast-Response Power Factor Computation Technique. *IEEE*, 235-240.
- Yasin, M. (2015). *Perancangan Cos Phi Meter Berbasis Mikrokontroler Atmega16*. Bogor: Universitas Pakuan.